El análisis de aceite como herramienta del Mantenimiento Proactivo en flotas de Maquinaria Pesada.
1er Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad
21 y 22 de Abril de 2005. Montevideo – Uruguay

El análisis de aceite como herramienta del Mantenimiento Proactivo en flotas de Maquinaria Pesada

Autora:
Carolina Altmann
caltmann@adinet.com.uy
Empresa: Consorcio Ambiental del Plata – Teyma
Cargo: Encargada de Mantenimiento
Veracierto 3180. Local 2. Montevideo – Uruguay
Telefax: +(598 2) 507 7161
Celular: +(598) 99 60 37 60

El presente trabajo aborda la importancia del análisis de lubricantes, como herramienta, a la hora de llevar adelante una estrategia de mantenimiento Proactivo, para el caso de flotas de maquinaria pesada.
La filosofía del mantenimiento Proactivo conduce a detectar y eliminar las causas que originan fallas en la maquinaria. El análisis de aceite permite conocer tanto la salud del lubricante, como el estado de contaminación y desgaste del sistema, así como también, reconocer las causas que provocan las fallas, para poder eliminarlas, aumentando de ésta forma, la confiabilidad.

1. Introducción a la Maquinaria Pesada

Se entiende por maquinaria pesada a toda maquinaria móvil, diesel – hidráulica y diesel – eléctrica, tal como: maquinaria vial, agrícola, para minería, equipamiento portuario, entre otras que son utilizadas en la construcción, minería, transporte, sector naval y portuario.
Dicha maquinaria está constituida por una serie de sistemas mecánicos operados bajo la protección de lubricantes líquidos, como motores de combustión interna, compresores de aire, cajas de engranajes, y por circuitos hidráulicos. Es ahí que el análisis de aceite será la herramienta más importante de una estrategia proactiva.

2. Confiabilidad y Mantenimiento Proactivo

En los últimos tiempos, se ha empezado a hablar del concepto de confiabilidad, en la medida que se comprendió que no era suficiente lograr una alta disponibilidad, sino también disminuir al mínimo la probabilidad de falla de las máquinas críticas durante la operativa, es decir lograr conseguir una alta confiabilidad. La no disponibilidad tiene fuerte impacto en la operativa y asociados altos costos de no disponibilidad. Las consecuencias de una falla pueden ir desde el lucro cesante o pérdida de producción, pasando por las horas hombre improductivas de operaciones, hasta la degradación y rotura de los propias máquinas.
Una alta disponibilidad no implica necesariamente una alta confiabilidad, pero una alta confiabilidad si implica una buena disponibilidad y seguridad, en la medida que la maquinaria presenta una baja probabilidad de falla. Para el caso de la maquinaria pesada, la confiabilidad será el producto de la confiabilidad individual de cada sistema que la compone.

Estrategias de Mantenimiento

Durante muchos años, el tipo de mantenimiento predominante ha sido el *Preventivo*, que consiste en la sustitución o reparación de componentes a intervalos fijos determinados ya sea en base a recomendaciones del fabricante del equipo o por estadísticas extraídas de los historiales. Pero esto no garantiza los niveles de confiabilidad requeridos en la actualidad, al mismo tiempo que lleva a un sobrecosto por sustitución de partes o lubricantes cuando todavía se encuentran aptos para el uso.

El Mantenimiento *Predictivo* se enfoca a los síntomas de falla que se identifican utilizando las distintas técnicas tales como análisis de lubricantes, análisis de vibraciones, y ensayos no destructivos como: radiografías, ultrasonido, termografía, etc. que permiten detectar los síntomas de inicio de falla de la maquinaria.
El mayor beneficio de la utilización de éstas herramientas, es que se logra una alerta temprana que permite planificar una parada para corregir el problema, alcanzando de ésta manera una mayor disponibilidad de la maquinaria y una reducción del número de fallas catastróficas.

El objetivo de un *Programa de Monitoreo de Condición (MBC)* es conocer la situación de la maquinaria. Las técnicas de monitoreo miden variables físicas que son indicadoras de la condición de la máquina, que son analizadas comparando con el rango de valores normales para evaluar las condiciones de deterioro.
El monitoreo de condición estudia la evolución de los parámetros seleccionados en el tiempo, con la finalidad de identificar la existencia de tendencias que indiquen la presencia de una falla.

En ésta medida un Programa de Monitoreo de Condición puede generar los siguientes beneficios:

? Detectar condiciones que motivar una falla
? Detectar problemas en la maquinaria
? Evitar fallas catastróficas
? Diagnóstico de causa de falla
? Proyección de vida útil

Para llevar adelante una estrategia de Monitoreo de Condición se debe evaluar los equipos de acuerdo a su criticidad y como afecta su confiabilidad, disponibilidad, los costos de no disponibilidad, los costos no confiabilidad, y la seguridad a la operativa, de manera de que los costos de aplicación de la estrategia sean menores a los que se tratan de evitar.
Existen casos en que los costos de no disponibilidad y no confiabilidad pueden llegar a justificar el diseño y la utilización de un esquema de redundancia de equipos como alternativa para responder ante una eventual falla, sin pérdidas de producción, aumentando de ésta manera la confiabilidad del sistema.

Las técnicas de Monitoreo de Condición se pueden clasificar en:

? Inspecciones de la maquinaria
? Medición del desempeño
? Monitoreo de las condiciones dinámicas de la maquinaria
? Monitoreo de partículas de desgaste

Siempre que el rendimiento de un equipo se mantenga dentro del rango normal, según los requerimientos operativos, se considera que el activo está cumpliendo su función.
Cada una de las herramientas que utiliza el Monitoreo de Condición tendrá que ser seleccionada de acuerdo a su capacidad de identificar las causas de falla.

El período P-F, tal como se puede apreciar en la Figura Nº 1, es el período de tiempo entre el punto donde es detectada la falla potencial y el punto donde se convierte en una falla funcional.
El punto P, primer momento en que la causa de falla es detectable por la técnica utilizada, y F es el punto de falla es decir el momento en que el equipo llega al límite inferior del rango normal de desempeño.

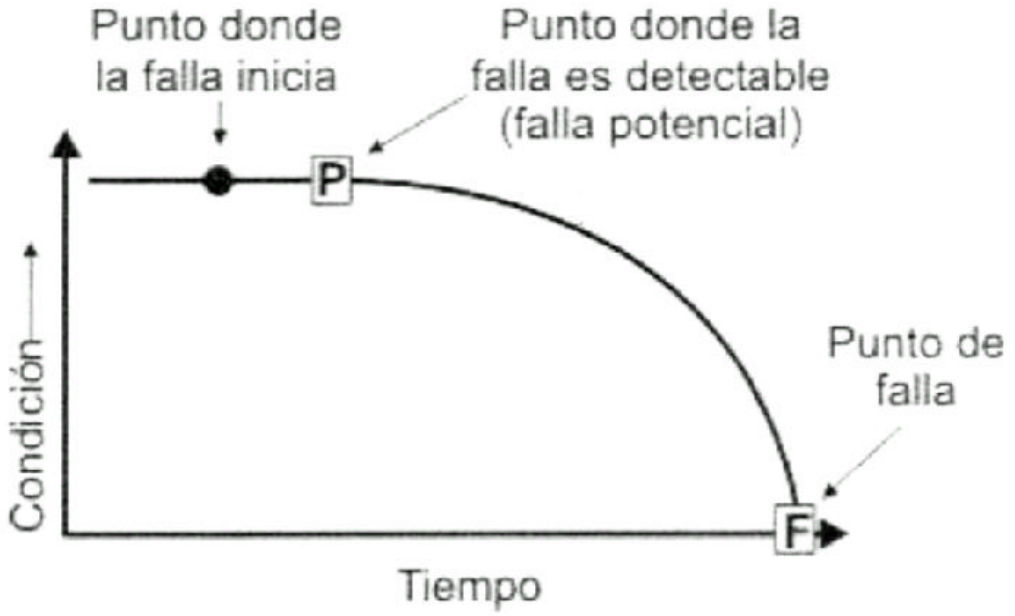

Figura Nº 1. Período P-F

Resulta más conveniente la selección de la herramienta con la que se obtenga el mayor período P-F que permita:

? Tomar acciones para evitar las consecuencias de la falla
? Planificar una acción correctiva, de manera de disminuir las pérdidas de producción
? Tomar acciones para eliminar la causa de falla

Todo esto conducirá a mejorar la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas.

La filosofía del Mantenimiento *Proactivo*, a pesar de utilizar las mismas herramientas que un Programa de Monitoreo de Condición, se enfoca a las causas y no a los efectos de las mismas, a diferencia del Mantenimiento Predictivo.
Al igual, que para el caso del Monitoreo de Condición debe enfocarse a las máquinas críticas, efectuar un análisis de modos de falla, consecuencias, síntomas y efectos (FMECA), y determinar los objetivos de control para cada una de ellas, los tipos de análisis que se efectuarán, y las medidas que deben tomarse para regresar a los valores establecidos.
El objetivo del Mantenimiento Proactivo es extender la vida de la maquinaria. Una vez que se han identificado la causa raíz que genera el desgaste, se debe eliminar ya que para extender la vida en servicio de los componentes, se deben mantener los parámetros de causa de falla dentro de límites aceptables.

Las estadísticas prueban que aproximadamente el 10% de las causas generan el 90% de las fallas, por ello resulta fundamental no continuar gastando en las consecuencias de las mismas fallas.
La maquinaria pesada está conformada por diversas máquinas rotativas, tales como motores diesel, cajas de engranajes, bombas hidráulicas, compresores de aire, entre otros. Las máquinas rotativas tienen asociada una probabilidad de falla que se incrementa a medida que aumenta el nivel de desgaste del sistema.
La maquinaria pesada es dependiente de sistemas fluidos, tales como los lubricantes, aceites hidráulicos, refrigerantes, combustibles y aire, los cuáles llevan contaminantes dentro del sistema y los transportan. La presencia de contaminación anormal, en un sistema puede describirse como falla incipiente. Esto significa que aunque la máquina no está experimentando una pérdida en su desempeño o degradación de sus componentes, las condiciones que llevan a la falla y reducen la vida del componente están presentes, en consecuencia el análisis de lubricantes es la herramienta fundamental de una Estrategia Proactiva para el caso de flotas de maquinaria pesada.

3. Análisis de aceite

Las funciones de los lubricantes son:

? Controlar la fricción
? Controlar el desgaste
? Controlar la corrosión
? Controlar la temperatura
? Controlar la contaminación
? Transmitir potencia, en el caso de circuitos hidráulicos

El aceite transporta y contiene toda la información acerca de los contaminantes y partículas de desgaste.

El análisis de aceite es una técnica simple, que realizando medidas de algunas propiedades físicas y químicas proporciona información con respecto a:

? La salud del lubricante
? Contaminación del lubricante
? Desgaste de la maquinaria

El análisis de aceite no sólo va a permitir monitorear el estado de desgaste de los equipos, detectar fallas incipientes, sino también establecer un Programa de Lubricación basado en Condición.

Los fabricantes de equipos recomiendan Planes de Mantenimiento que incluyen cambios de lubricantes a intervalos fijos, llevando a un costoso sobre mantenimiento, pues sustituye lubricantes todavía aptos para el uso.

4. Beneficios de utilizar el Análisis de Aceite

4.1 Estrategia Proactiva

Para llevar adelante la estrategia Proactiva es fundamental establecer dos tipos de alarmas:

? Alarmas Absolutas
? Alarmas Estadísticas

Las alarmas absolutas son límites condenatorios que se aplican al estado de contaminación del lubricante, y se pueden tomar las recomendaciones del fabricante del equipo, en el caso que las hubiera o en su defecto las recomendaciones del Laboratorio de Análisis de Lubricantes.
Mientras que las alarmas estadísticas están basadas en los propios valores registrados en el equipo. El análisis de la tendencia estadística permite identificar fallas incipientes. No se debe olvidar la variabilidad inherente a la propia exactitud de las pruebas que se realizan.
Resulta muy importante para poder identificar las causas de falla tener en cuenta las condiciones operativas y ambientales. Tal como es sabido, aún dos máquinas idénticas condiciones operativas y ambientales disímiles no requerirán las mismas intervenciones de mantenimiento, ni presentarán la misma clase de fallas. Pero para el caso de equipos idénticos en condiciones operativas similares, se pueden utilizar las mismas alarmas estadísticas.
Así mismo, es fundamental conocer la metalurgia de las partes móviles que tienen contacto con el lubricante, para eventualmente identificar el origen de los metales de desgaste.

Para llevar adelante una Estrategia Proactiva el primer paso es seleccionar los equipos a incluir dentro del Programa, y definir los objetivos de limpieza, y luego tomar acciones para llevarlos a cabo.

Para seleccionar los puntos de lubricación a monitorear mediante análisis de aceite, tal como ya se mencionó anteriormente, debe tenerse en cuenta la criticidad del componente y en cómo afecta éste a la confiabilidad y disponibilidad de la máquina. Incluso debe incluirse en el programa un reductor de 2 litros de capacidad, si éste afecta la confiabilidad y seguridad de la máquina. Para ésta caso no se esperan

beneficios extendiendo la vida del aceite, sino desde el punto de vista del Mantenimiento Predictivo.

El control de contaminación de los aceites, es el pilar básico de la Estrategia Proactiva, enfocándose al control de la principal causa de desgaste y falla de los equipos, debiéndose evitar que los contaminantes ingresen al sistema.
El objetivo de limpieza afecta desde la recepción, almacenaje y manipulación de los lubricantes nuevos, la limpieza de los respiraderos, la correcta selección y frecuencia de cambio de filtros.

A continuación se detallan las principales consecuencias sobre la superficie metálica, según el tipo de contaminante.

Tipo de contaminante	**Efectos sobre la superficie de la maquinaria**
Partículas	Desgaste superficial por abrasión y fatiga
Agua	Herrumbre, rayado
Combustible	Incremento del desgaste, por pérdida de resistencia de la película lubricante
Anticongelante	Herrumbre, corrosión. Incremento del desgaste, por pérdida de resistencia de la película lubricante
Aire	Cavitación
Calor	Formación de baniz. Incremento del desgaste, por pérdida de resistencia de la película lubricante

Los aceites sufren un mecanismo de envejecimiento natural que va alterando sus propiedades físicas: la densidad, la viscosidad, y las propiedades químicas, que disminuye su vida útil, a través los siguientes mecanismos:

? Oxidación
? Polimerización
? Ruptura
? Evaporación

Al disminuir la contaminación con agua, con aire, con partículas, con calor, no sólo se estará disminuyendo el desgaste de la maquinaria, sino también extendiendo la vida útil del aceite.

4.2 Estudio de casos particulares

4.2.1 Motores diesel

Pruebas que comúnmente se realizan a aceites para motores diesel

? Espectroscopia de Metales: Hierro, Cobre, Plomo, Aluminio, Cromo, Estaño, y Sodio
? Espectroscopia de Silicio
? Medida de Viscosidad cinemática
? Contenido de Agua
? Medición del TBN
? Dilución por combustible
? Dilución por Glicol

Si se grafican los contenidos de los metales, se pueden comparar los contenidos de metales de desgaste en relación los límites de advertencia, así como también analizar las tendencias.

En la figura Nº 2, está graficado en forma conjunta para el caso de un motor diesel, el contenido de Hierro y Silicio en la escala del eje primario, y el contenido de hollín según la escala del eje de la derecha. En la misma se puede observar que la mayoría de los máximos de hollín están alineados con los de hierro, lo que demuestra que el mayor contenido de hollín en el aceite, provoca un mayor aumento del desgaste del motor, por efecto de la abrasión.
En la figura Nº 3, está graficado para el mismo motor e igual período, los contenidos de aluminio, cromo y plomo, según la escala del eje primario, y el contenido de cobre, según la escala del eje de la derecha.

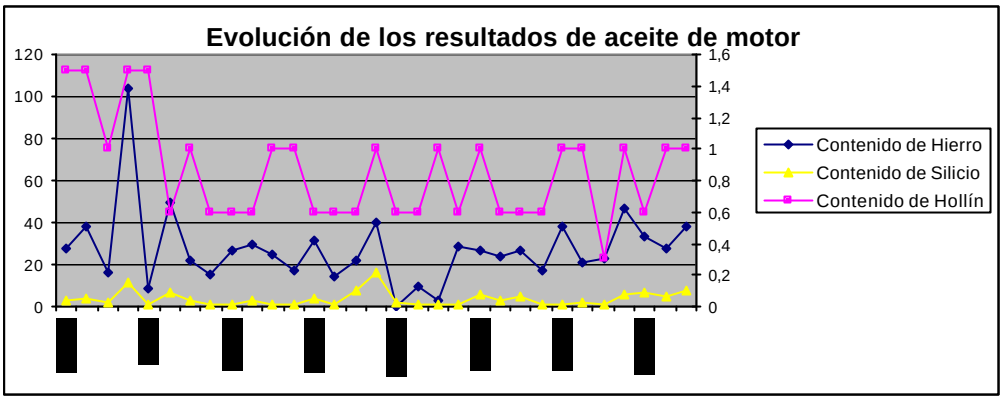

Figura Nº 2. Evolución de la concentración de Hierro, Sílice y Hollín

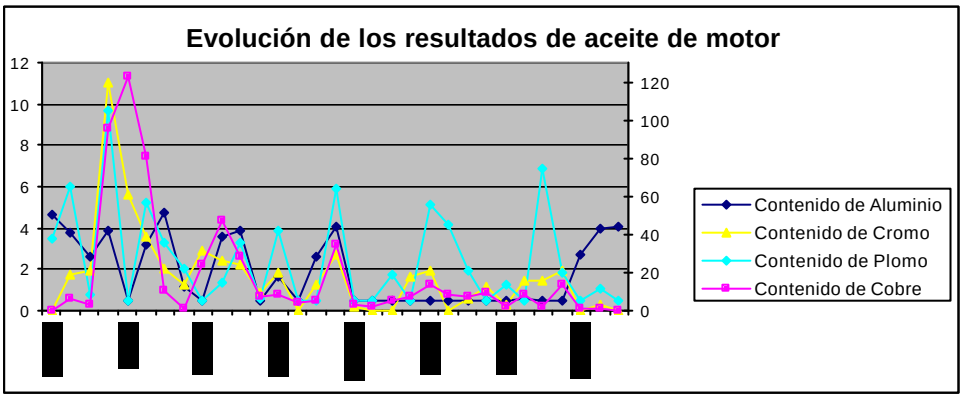

Figura Nº 3. Evolución de la concentración de metales en igual período

Los puntos alrededor de la muestra de fecha 22-Jul, presentan un contenido de hierro y cobre por arriba de los límites de advertencia, indicando desgaste proveniente de los metales de biela y bancada del cigüeñal, y del cigüeñal mismo. Tal como se puede apreciarse no hubo ingreso de contaminantes, ni contaminación del lubricante. El motivo del incremento de los metales de desgaste estuvo en el agotamiento del paquete de aditivos.

El caso aquí presentado corresponde a un motor diesel con un consumo de combustible en el entorno de los 55 litros / hora, que sumado al alto contenido de azufre del gasoil en el Uruguay, aumenta la velocidad de agotamiento del paquete de aditivos, razón por la cual, se debió disminuir la frecuencia de cambio de aceite para poder prolongar la vida útil del motor. En éste caso no se obtuvo beneficios por disminución del consumo de lubricantes. Al contrario se aumentaron los costos por concepto de lubricantes en un 50% al año, pero se obtuvieron beneficios mayores en la extensión de la vida en servicio del motor.

En general es posible extender la vida en servicio del aceite, con excepción del caso descrito anteriormente o similares.
Para el caso de motores diesel, a pesar de estar limitados, como ya se dijo anteriormente, por el alto contenido de azufre, el análisis de aceite no deja de ser una herramienta muy poderosa para detectar fallas incipientes, así como también llevar a cabo un monitoreo de condición del estado del motor.

Por otra parte es posible elaborar un indicador del estado de un motor diesel combinando la información suministrada por el análisis de aceite, los registros de consumo de aceite y combustible, sumado a mediciones de desempeño, que habitualmente sólo son utilizadas para diagnóstico, como es la medición de la compresión en cilindros y la medición de la presión en el cárter, permitirá proyectar la vida útil remanente, lo que mejorará la planificación de las reparaciones y compra de repuestos, disminuyendo así el capital inmovilizado en repuestos.

4.2.2 Circuitos hidráulicos

Pruebas que comúnmente se realizan a aceites hidráulicos

? Espectroscopia de Metales: Hierro, Cobre, Plomo, Aluminio, Cromo, y Níquel
? Espectroscopia de Silicio
? Medida de Viscosidad cinemática
? Contenido de Agua
? Medición del TAN
? Oxidación
? Conteo de partículas

Al igual que en el caso del motor si se grafican los contenidos de los metales, se pueden comparar los contenidos de metales de desgaste en relación los límites de advertencia, así como también analizar las tendencias.

Las estadísticas prueban que del 75 al 85% de todas las fallas en sistemas hidráulicos son resultado directo de la contaminación del fluido.
Los contaminantes transportados en el aceite afectan a los distintos componentes del circuito; bombas, motores, válvulas, y cilindros hidráulicos por la corrosión producida por los ácidos que se forman debido a la oxidación del aceite y la contaminación con agua. También se pueden producir atascamientos de válvulas por presencia de partículas.
Según la clase de bombas y válvulas que componen el circuito hidráulico, y la presión de trabajo de las mismas, se puede definir el objetivo de limpieza según el código ISO 4406, de acuerdo a esto último se seleccionarán los filtros hidráulicos necesarios según la eficiencia de filtrado requerida.

Realizando el control de contaminación y el monitoreo de condición del estado de salud del lubricante se pudo llegar a extender 8 veces la vida en servicio comparada con el intervalo entre cambios indicado por el fabricante, lo que genera una importantísima disminución del consumo de lubricantes, y la consecuente disminución de los costos de lubricantes, y mano de obra asociada a lubricación.
El control de contaminación y que el lubricante se mantenga por debajo de un objetivo de limpieza, reduce el desgaste sufrido por los componentes, extendiendo de ésta manera la vida útil de bombas hidráulicas, motores hidráulicos y válvulas.

En la figura Nº 4, está graficada la evolución de viscosidad cinemática de un aceite hidráulico tipo ATF, con respecto al tiempo y horas de uso. En la misma se puede observar los instantes en que se cambio el aceite hidráulico con 6000 horas de uso aproximadamente, al llegar la viscosidad a su límite condenatorio inferior.
El fluido ATF posee un muy alto índice de viscosidad, con el uso sufre envejecimiento por ruptura, lo que genera una disminución permanente de la viscosidad.

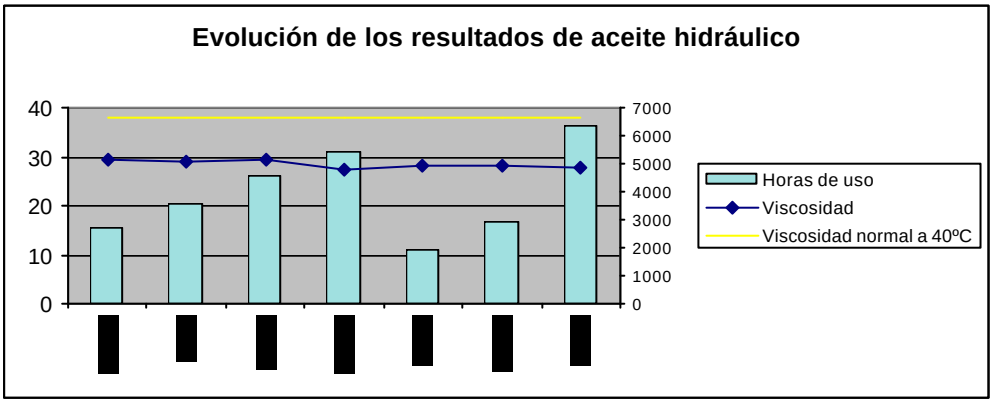

Figura Nº 4. Evolución de la viscosidad

5. Conclusiones

Resulta fundamental para que el Programa sea exitoso, tanto la selección adecuada de las sistemas o componentes a monitorear, como el correcto establecimiento de límites y objetivos de limpieza.

En general la implementación de una Estrategia Proactiva generará los siguientes beneficios:

? Aumento de la confiabilidad.
? Aumento de la seguridad en la operación al evitar las fallas catastróficas.
? Aumento de la disponibilidad, al aumentar la confiabilidad, y al mejorar la planificación de las intervenciones.
? Disminución de pérdidas de producción, por interrupciones debidas a fallas.
? Reducción del impacto ambiental por la reducción del consumo de lubricantes.
? Disminución de costos de lubricantes hasta en 10 veces.
? Disminución de costos de mano de obra en tareas de lubricación.
? Disminución de costos de reparación, por detección temprana de los problemas.
? Disminución de costos de materiales y repuestos, al extender la vida útil de las máquinas hasta 6 veces, según el sistema y los objetivos planteados.
? Disminución del capital inmovilizado en repuestos, al pronosticar la vida útil remanente.

El análisis de aceite como herramienta del Mantenimiento Proactivo en flotas de Maquinaria Pesada.
1er Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad
21 y 22 de Abril de 2005. Montevideo – Uruguay

Índice

? 1.Introducción a la Maquinaria Pesada Pág. 1
? 2.Confiabilidad y Mantenimiento Proactivo Pág. 2
? 3.Análisis de Aceite Pág. 5
? 4. Beneficios de utilizar el Análisis de Aceite. Pág. 5
? 4.1 Estrategia Proactiva Pág. 5
? 4.2 Estudios de casos particulares Pág. 8
? 4.2.1 Motores diesel Pág. 8
? 4.2.2 Circuitos hidráulicos Pág. 10
? 5. Conclusiones Pág. 12
? Índice y Bibliografía Pág. 13

Bibliografía

? Administración Moderna de Mantenimiento – Lourival Tavares
? Implementación de un Programa Proactivo – Gerardo Trujillo
? RCM – J.M Moubray
? Seminario de Mantenimiento Proactivo y análisis de aceite - James C, Fitch

El análisis de aceite como herramienta del Mantenimiento Proactivo en flotas de Maquinaria Pesada.
1er Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad
21 y 22 de Abril de 2005. Montevideo – Uruguay

La autora

Carolina Altmann

Actualmente se desempeña como Responsable de Mantenimiento en la empresa Consorcio Ambiental del Plata - Teyma
Cuenta con 7 años de experiencia en el Mantenimiento de Flotas de Maquinaria Pesada. Ha realizado varios seminarios de especialización en Mantenimiento.
Miembro de la Comisión Directiva de URUMAN.
Coordinadora Regional del COPIMAN

EXPERIENCIA PROFESIONAL

Consorcio Ambiental de Plata – Teyma
Encargada de Mantenimiento. Período: Desde Ago-04 a la fecha
Responsable de la Gestión de Mantenimiento de una importante flota de equipos para recolección de residuos.

Montecon
Asistente Técnico de Mantenimiento. Período: 1998 – 2003
Responsable del diseño de los planes de mantenimiento preventivo de una flota de maquinaria pesada para movimiento de contenedores.

Responsable del diseño de un plan de lubricación por condición. Elaboración e implementación de un plan de estrategias predictivas-proactivas, utilizando análisis de lubricantes, aplicado al mantenimiento de: motores diesel, transmisiones, sistemas hidráulicos, y reductores, de todas las máquinas.

SEMINARIOS

-"***Indices de Mantenimiento*"**, dictado por el Ing. Lourival Tavares. AIU. Año 1999
-**"*Lubricación, lubricantes y afines"*,** dictado por el Dpto. Técnico de Shell. Año 1999
-***"Auditorías de Mantenimiento"***, dictado por el Ing. Lourival Tavares. AIU. Año 2000
- ***"Jornadas sobre Ensayos No Destructivos"***, organizado por Aendur y IEM de la Faculta de Ingeniería – UDELAR. Años: 2002, y 2003
- "*Mantenimiento proactivo y análisis de lubricantes"*, organizado por Noria, dictado por el Laboratorio Dr. Lantos. Buenos Aires – Argentina. Año: 2003
- Asistente al ***"1er Seminario Uruguayo de Mantenimiento"***. Año: 2004